

Fachadas autoportantes de ladrillo cara vista

M^a Concepción del Río, Doctor Arquitecto



(1)

Resumen

La *fachada autoportante* de ladrillo cara vista es el resultado de una profunda reflexión sobre las diferentes soluciones para las fachadas de ladrillo que se han utilizado a lo largo de la historia; impulsada por la Sección *Cara Vista* de Hispalyt en estrecha colaboración con el Departamento Técnico de Geohidrol S.A., empresa líder en la investigación, fabricación y comercialización de sistemas para cerramientos de fábrica. Cuando se analizan las diferentes soluciones de cerramiento de fábrica de ladrillo cara vista, bajo la óptica de las exigencias del Código Técnico de la Edificación, la fachada autoportante se decanta como la solución óptima por su extraordinaria simplicidad constructiva, sus elevadas prestaciones mecánicas y funcionales y el bajo coste en recursos auxiliares.

El tipo constructivo de *fachada autoportante* (1) se caracteriza porque el muro de ladrillo, que constituye la hoja exterior del cerramiento, se construye tangente a la estructura del edificio, gravitando sobre sí mismo en toda la altura que permite el cálculo estructural. De esta forma, el muro de fábrica es el principal elemento estructural soporte de sí mismo. La diferencia fundamental de la *fachada autoportante* con el resto de las soluciones al uso para fachadas de ladrillo, se fundamenta en el aprovechamiento del potencial estructural que tienen los materiales pétreos cuando trabajan a compresión.

El sistema convencional para las fachadas de ladrillo, cuya estabilidad se consigue por confinamiento en los forjados, y las soluciones que utilizan dispositivos específicos de apoyo para el sostén de la fachada en cada planta del edificio, tienen en común la concepción del muro de ladrillo como un “*peso muerto*” que es necesario sostener y transmitir a la estructura portante del edificio a intervalos relativamente pequeños. Por el contrario, los sistemas de *fachada autoportante* conciben el propio muro de ladrillo como un elemento activo y fundamental en el comportamiento mecánico, siendo el principal elemento soporte de sí mismo, lo cual es posible incluso en edificios con un número considerable de plantas. Ello permite recuperar el carácter estructural que tradicionalmente se ha asignado a las fábricas de ladrillo, como elementos esenciales de la estructura portante de los edificios y, a la vez, eliminar innecesarios y costosos aparatos de apoyo, reduciendo notablemente el coste y la complejidad constructiva de la solución.

Las ventajas que supone esta concepción del muro de fachada, como elemento activo en el comportamiento mecánico, se complementan con las ventajas de índole funcional que supone la construcción del muro separado de la estructura del edificio.

El tipo de *fachada autoportante* no requiere la disposición de plaquetas ni piezas especiales de chapado en los frentes de forjados o soportes. Debido a que el muro de fachada discurre tangente y separado de la estructura del edificio, se elimina el conflicto constructivo que supone su encuentro con los elementos estructurales. Por otra parte, la continuidad del muro en toda su altura, que caracteriza a la *fachada autoportante*, habilita la posibilidad de mantener la misma continuidad en el resto de los elementos constructivos que constituyen el cerramiento, como por ejemplo, el aislamiento térmico, la cámara de aire o cualquier barrera interpuesta entre la fachada y el edificio, evitando de esta forma los indeseados puentes térmicos, acústicos o de humedad.

La *fachada autoportante* de ladrillo cara vista, tanto en su versión estanca como ventilada, constituye el tipo constructivo fundamental amparado bajo la marca “*STRUCTURA®*”, creada por la Sección *Cara Vista* de Hispalyt, con el objeto de promover la innovación y el incremento de calidad y prestaciones en los cerramientos de fachada de ladrillo cara vista, ante el reto que supuso la nueva normativa para esta unidad constructiva. Los recursos auxiliares necesarios para la consecución de las prestaciones exigidas, así como los procedimientos de puesta en obra y control de ejecución, están disponibles en el mercado, conformando el “*Sistema G.H.A.S.®*” (*GeoHidrol Advanced Systems*), desarrollado por la Empresa Geohidrol S.A., que aporta el soporte técnico y las garantías necesarias para una correcta puesta en obra de este tipo de solución constructiva.

Aunque la *fachada autoportante* de ladrillo cara vista se presenta aquí como un tipo novedoso, es justo destacar que, tanto la concepción estructural de esta solución constructiva, como los modelos y parámetros necesarios para su dimensionado y el cálculo de sus prestaciones, están explícitos en los respectivos Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación. Por consiguiente, en lo que se refiere a los aspectos de proyecto, esta solución está respaldada por la normativa vigente, de la misma manera que lo están las soluciones convencionales de fachada confinada entre forjados.

Sin embargo, el resultado final de los cerramientos de fachada, así como su comportamiento mecánico y funcional, son extraordinariamente sensibles al proceso de ejecución y puesta en obra. Aunque la normativa establece unos criterios generales de ejecución y control para los muros de fábrica, hasta ahora ha sido prácticamente imposible garantizar, de forma responsable, el resultado de un muro de ladrillo cuando se inspecciona una vez ejecutado. Para solventar esta circunstancia, el *Sistema G.H.A.S.®* incorpora en todos sus elementos auxiliares con prestación estructural los *dispositivos SAO (Sistema de Autocontrol del Operario)* que permiten un control exhaustivo de la ejecución de todos los muros, mediante una simple inspección visual, incluso después de haber sido construidos. Esta singular característica del *Sistema G.H.A.S.®* ha propiciado la obtención de un D.A.U. que ampara el proyecto y la ejecución de las *fachadas autoportantes de ladrillo cara vista*, lo cual supone para los proyectistas, constructores y promotores una garantía adicional de calidad y prestaciones.

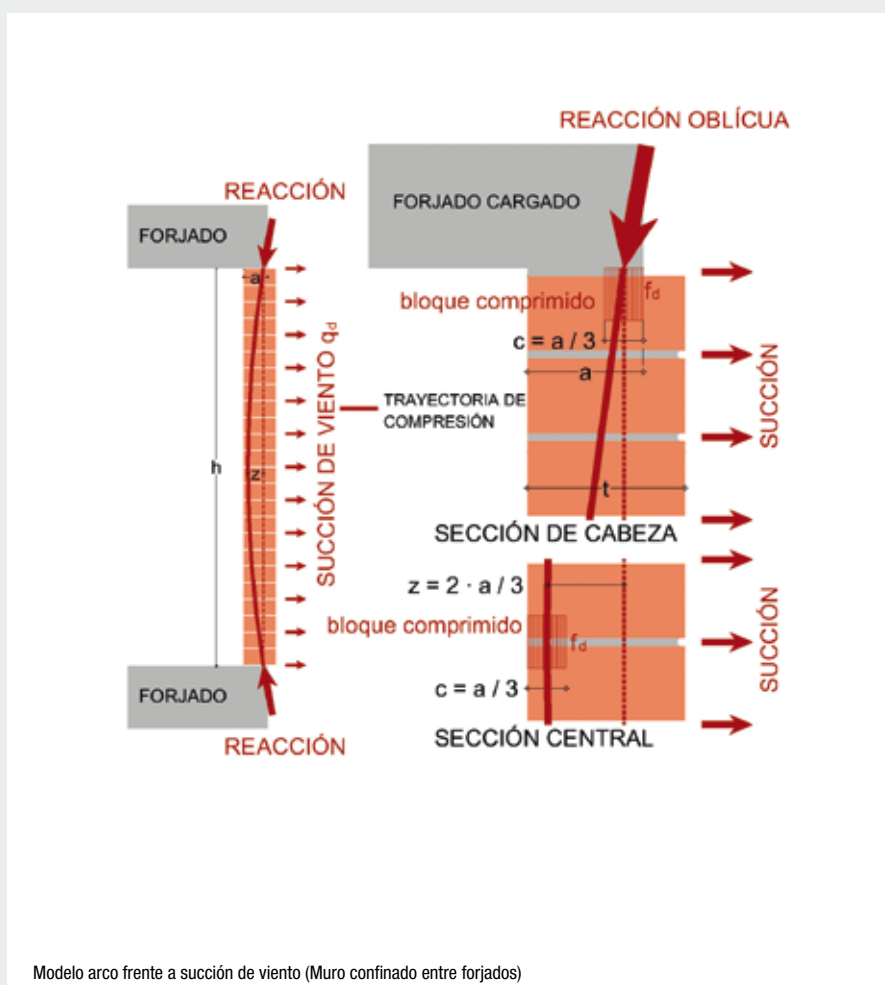
Razón de ser de la fachada autoportante de ladrillo cara vista

Aunque el objeto de este artículo es presentar un tipo constructivo novedoso para las fachadas de ladrillo cara vista, es importante comenzar destacando el hecho de que el Código Técnico de la Edificación no impone ni descalifica ninguna solución constructiva particular; solamente establece las prestaciones que deben tener los edificios y los procedimientos para conseguirlas. Las fachadas, como parte integrante de los edificios, proporcionan una buena parte de sus prestaciones y, por consiguiente, deben ser objeto de un correcto análisis y una adecuada ejecución, en cuanto que su comportamiento mecánico y funcional es esencial para la consecución de los objetivos que persigue la normativa.

En este sentido, las soluciones convencionales de fachada de ladrillo que se vienen haciendo hasta ahora, entendiendo como tales las que se construyen confinadas entre los forjados del edificio, sin utilizar más recursos que las piezas cerámicas trabadas con mortero, son viables, a priori, según la normativa actual, siempre que se mantengan dentro de un determinado rango de validez; pero, además de ser viables, su dimensionado se puede y se debe justificar sin incertidumbres ni ambigüedades a la luz de la nueva normativa, por lo que, al menos en la fase de proyecto, quedan amparadas por los Documentos Básicos correspondientes, al margen de cualquier debate o polémica.

De la misma manera, las soluciones de fachada no convencionales que han surgido en las últimas décadas (o cualquier otra que pueda surgir en el futuro), entendiendo como tales las que requieren dispositivos adicionales para justificar su validez o para incrementar sus prestaciones, también pueden y deben ser objeto del análisis correspondiente, si se desea determinar la naturaleza de los dispositivos auxiliares adecuados, sus cuantías y el valor concreto de las prestaciones obtenidas. El resultado del análisis es el único procedimiento que permite dictaminar, de forma objetiva, acerca de la bondad de una solución determinada y establecer comparaciones sensatas entre diferentes alternativas.

Si se exploran y analizan, desde el punto de vista del comportamiento mecánico, los diferentes sistemas que se han utilizado para resolver la hoja exterior de los cerramientos de fachada de los edificios, se pueden agrupar en dos tipos fundamentales. Un primer tipo corresponde a las fachadas que se sustentan sobre sí mismas en toda su altura, en el que se pueden incluir las concebidas



(2)

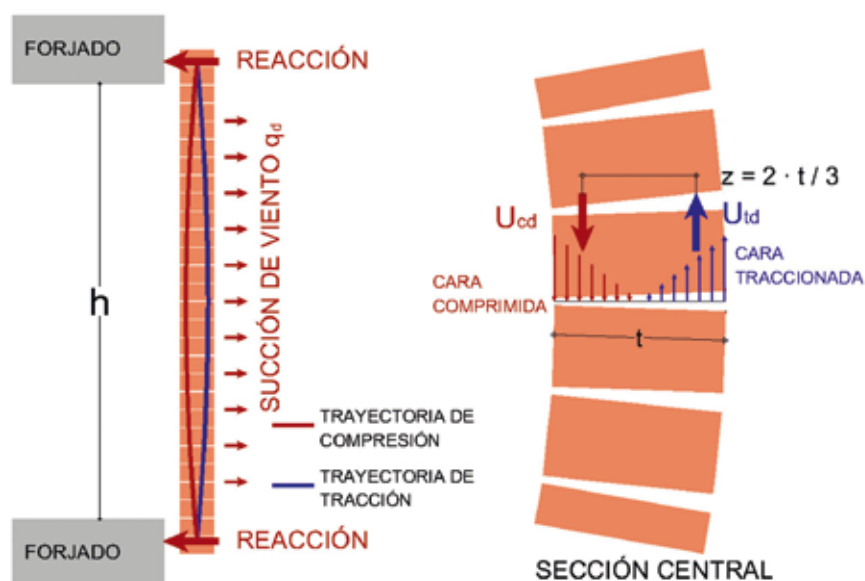
como muros de carga. El segundo tipo corresponde a las que se sustentan en los forjados del edificio planta a planta; bien por confinamiento, cuando el material tolera aceptablemente los esfuerzos de compresión; o bien por suspensión, como es el caso de los *muros cortina*, cuando el material resiste los esfuerzos de tracción.

Los muros de ladrillo cerámico pertenecen al grupo de los materiales pétreos, con un excelente comportamiento a compresión, por lo que, históricamente, los muros de cerramiento de ladrillo se han utilizado también como elementos esenciales de la estructura portante de los edificios. Como contrapartida, la resistencia a tracción de los materiales pétreos sólo es testimonial, lo que limita drásticamente su capacidad para resistir la flexión producida por acciones horizontales. Desde tiempo inmemorial esta circunstancia se ha resuelto incorporando carga gravitatoria adicional, cuando la estabilidad de los muros estaba comprometida por la presencia de empujes laterales o acciones horizontales significativas.

Cuando las fachadas (y los muros en general) dejaron de ser muros de carga, su comportamiento mecánico cambió sustancialmente. Dejaron de tener la acción gravitatoria esencial para su estabilidad y, sin embargo, al menos los muros de fachada, debían seguir dando respuesta mecánica a la acción de viento. El objetivo fundamental del análisis estructural de estos muros ya no era mantener el valor y trayectoria de la compresión dentro de un rango aceptable, sino que pasó a ser la consecución de los recursos necesarios para hacer frente a las acciones horizontales, cuyo efecto se volvió mucho más agresivo para los muros que carecían de la carga gravitatoria estabilizante.

El sistema constructivo que propició resolver esta nueva circunstancia, sin necesidad de recurrir a la escasa y poco fiable resistencia a tracción de los muros de fábrica, es el que llamamos aquí "*sistema convencional*", (2) que consiste en confinar los muros de fachada entre los forjados de piso, para conseguir la estabilidad necesaria ante las acciones horizontales por "*efecto arco*", contando con la reacción de "*empuje*" que proporcionan los forjados cargados.

Lamentablemente, el recurso de confinar entre los forjados se impuso para las fachadas de ladrillo sin un marco normativo de respaldo, que recogiera el cambio sustancial en la función mecánica de estos elementos¹. La respuesta mecánica de los muros de fachada frente a las acciones horizontales por "*efecto arco*" requiere un buen confinamiento en los forjados, puesto que la



(3) Modelo viga vertical frente a succión de viento (Muro tangente a los forjados)

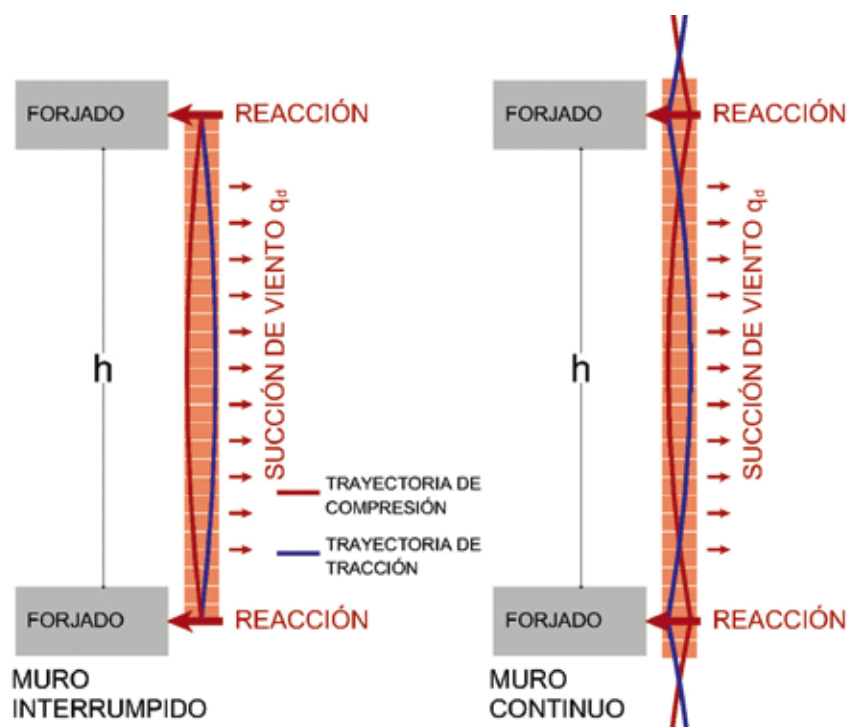
carga gravitatoria de éstos es la componente fundamental del empuje necesario para el equilibrio. El análisis de la resistencia a compresión del arco precisa un ancho de entrega mínimo del muro en los forjados, determinado en función de la altura del paño². Pero, sobre todo, el hecho de confinar la fachada entre los forjados exige la consideración de esta circunstancia en el análisis global de la estructura del edificio, incluyendo en los parámetros de cálculo la rigidez de los muros de fachada, puesto que ambos elementos, estructura y muro, quedan rígidamente conectados.

La falta de un análisis estructural adecuado para este tipo constructivo, que se desarrolló en un vacío legal, puesto que la normativa anterior sólo recogía en su ámbito a los muros cargados, tuvo como consecuencia la aparición de disfunciones y procesos patológicos en las fachadas que nunca se habían producido en los muros de carga. Las deficiencias eran de índole diferente, según el requisito que resultaba deficitario en cada situación particular, pero en todos los casos se solían atribuir a la disminución del espesor de los muros, cuando en realidad ninguno de los procesos patológicos habituales en este tipo constructivo (fisuración en esquinas y dinteles, caídas de petos, desprendimiento de plaquetas, etc.) constituían un síntoma de agotamiento por compresión, sino todo lo contrario. Más aún si se tiene en cuenta que estos procesos aparecen prioritariamente en las plantas altas de los edificios.

A la luz de la nueva normativa, que tiene explícitos los modelos de análisis y los requisitos que precisan los muros para hacer frente a las acciones horizontales, se deduce que el cambio que realmente acusaron los muros de fachada cuando dejaron de ser muros portantes, no fue su disminución de espesor, sino su disminución de carga gravitatoria.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado han surgido propuestas alternativas al procedimiento convencional de confinar las fachadas de ladrillo cerámico entre los forjados de piso. Los sistemas más conocidos tienen como objetivo desconectar la fachada de la estructura del edificio, posibilitando de este modo el movimiento independiente de dos elementos constructivos de distinta naturaleza. Para ello, el muro no se sustenta directamente sobre los forjados, sino que se separa de la estructura descargando en dispositivos de apoyo específicos, como consolas o angulares interpuestos entre la estructura y la hoja exterior de la fachada. (3)

Estos sistemas resuelven la incompatibilidad de movimientos entre la fachada y la estructura; y habilitan, aunque sólo parcialmente, la continuidad del resto de los componentes del cerramiento, para evitar los engorrosos puentes. Sin embargo, obvian la circunstancia de que un muro de ladrillo cerámico, incluso de ½ pie de espesor, tiene porte y resistencia suficientes para sostenerse a sí mismo en toda su altura, cuando el edificio no supera un número elevado de plantas³.



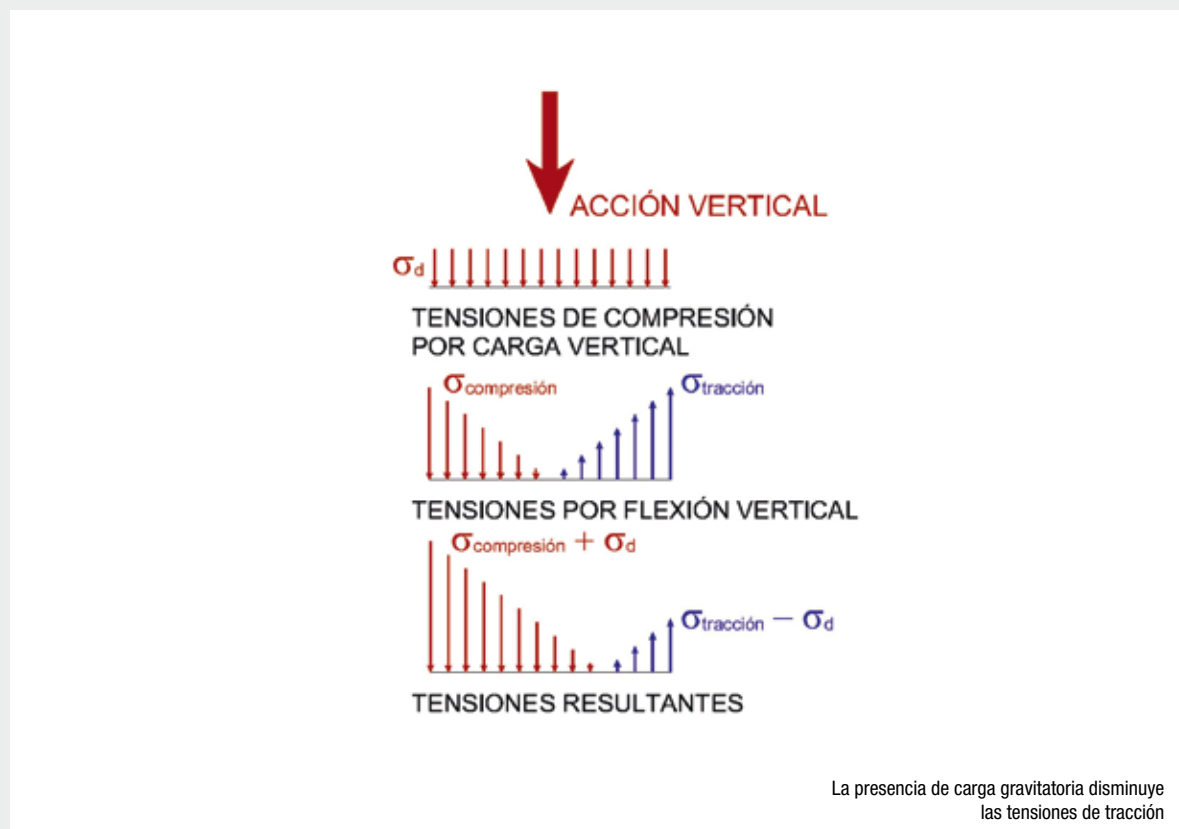
(4) Modelo viga apoyada y modelo viga continua

Debido a la capacidad resistente limitada de las consolas o angulares de sostén (o de sus tacos de fijación a los forjados), este tipo constructivo de fachada tangente requiere interrumpir eficazmente la continuidad en vertical del muro, mediante la disposición de juntas horizontales de movimiento en cada planta (o, a lo sumo, cada dos plantas, según el porte de los aparatos de apoyo) para evitar la acumulación del peso total de la fachada hacia las plantas bajas. La presencia de juntas horizontales de movimiento elimina la posibilidad de generar empujes contra los forjados y, por consiguiente, elimina también la posibilidad de resistir acciones horizontales por efecto arco; pero, sobre todo, deja sustancialmente mermadas las condiciones de continuidad de la fachada ante estas mismas acciones horizontales⁴. (4)

El tipo constructivo descrito anteriormente, con dispositivos de sostén cada una o dos plantas, se puede analizar y construir, siempre y cuando el muro esté suficientemente anclado para evitar el vuelco. Sin embargo, la solución aplicada a los paños habituales de fachada, incluso con dimensiones modestas, consume una gran cantidad de elementos auxiliares porque precisa, además de los aparatos de apoyo, los dispositivos de retención y la armadura de tendel, necesarios para resolver la estabilidad y la resistencia a tracción, respectivamente; en unas condiciones de sustentación y continuidad del muro que quedan mermadas por la circunstancia anteriormente indicada.

Si se toma en consideración el peso propio de los muros de fábrica de ladrillo cara vista (a razón de 18 kN/m^3 , los más pesados) y su capacidad resistente a compresión (a razón de 4 N/mm^2 , en el peor de los casos), una simple operación aritmética permite deducir que las fachadas habituales de los edificios que utilizan el ladrillo cara vista como material de acabado, no precisan ningún dispositivo auxiliar de descarga, ni tampoco interrumpir su continuidad en vertical.

Por otra parte, si se aplican sistemáticamente a las distintas soluciones alternativas los modelos disponibles en la normativa actual⁵ para verificar el comportamiento mecánico de los cerramientos de fachada, se puede extraer una importante conclusión de carácter general, sea cual sea el tipo constructivo que se utilice. Esta importante conclusión es que la presencia de carga gravitatoria siempre tiene carácter favorable ante las acciones horizontales. En las fachadas confinadas, la carga gravitatoria es imprescindible para *generar empujes*; y en las fachadas exentas, la carga gravitatoria es beneficiosa para *contrarrestar tracciones*. (5)



(5)

Esta importante conclusión y una mirada hacia atrás, recuperando la forma de concebir los muros de fábrica que tenían nuestros mayores, son razones suficientes para reconsiderar el procedimiento de resolver las fachadas de ladrillo de los edificios modernos. Por una parte, cabe pensar que, si el cerramiento de fachada se concibe como una piel envolvente del edificio, es una contradicción encastrarla en su estructura, porque tarde o temprano acabará participando de su comportamiento mecánico. Por otra parte, si la piel envolvente está constituida por un material pétreo con suficiente porte, es un disparate intentar suspenderlo como si de una cortina se tratase, por muy sofisticado o ingenioso que sea el artilugio que se utilice para ello. Y, por último, si el material utilizado para la fachada tiene capacidad resistente para transmitir incluso carga ajena, no hay ninguna razón para rehuir su propio peso intentando disiparlo en cada planta del edificio con difíciles detalles de encuentro o costosos aparatos de apoyo.

Las soluciones más sencillas constructivamente y más seguras desde el punto de vista del análisis estructural, son aquellas en las que el peso propio del cerramiento se transmite sin interrupción de continuidad a la planta de arranque. El recurso más rentable de los que aparecen en el Código Técnico de la Edificación para evaluar la respuesta mecánica de los muros de fachada es la incorporación de la carga gravitatoria en el análisis. Es importante destacar que el hecho de conseguir que, al menos el propio peso del muro de fachada gravite sobre sí mismo en toda su altura, no supone ningún coste adicional ni requiere ninguna complejidad constructiva de la solución.

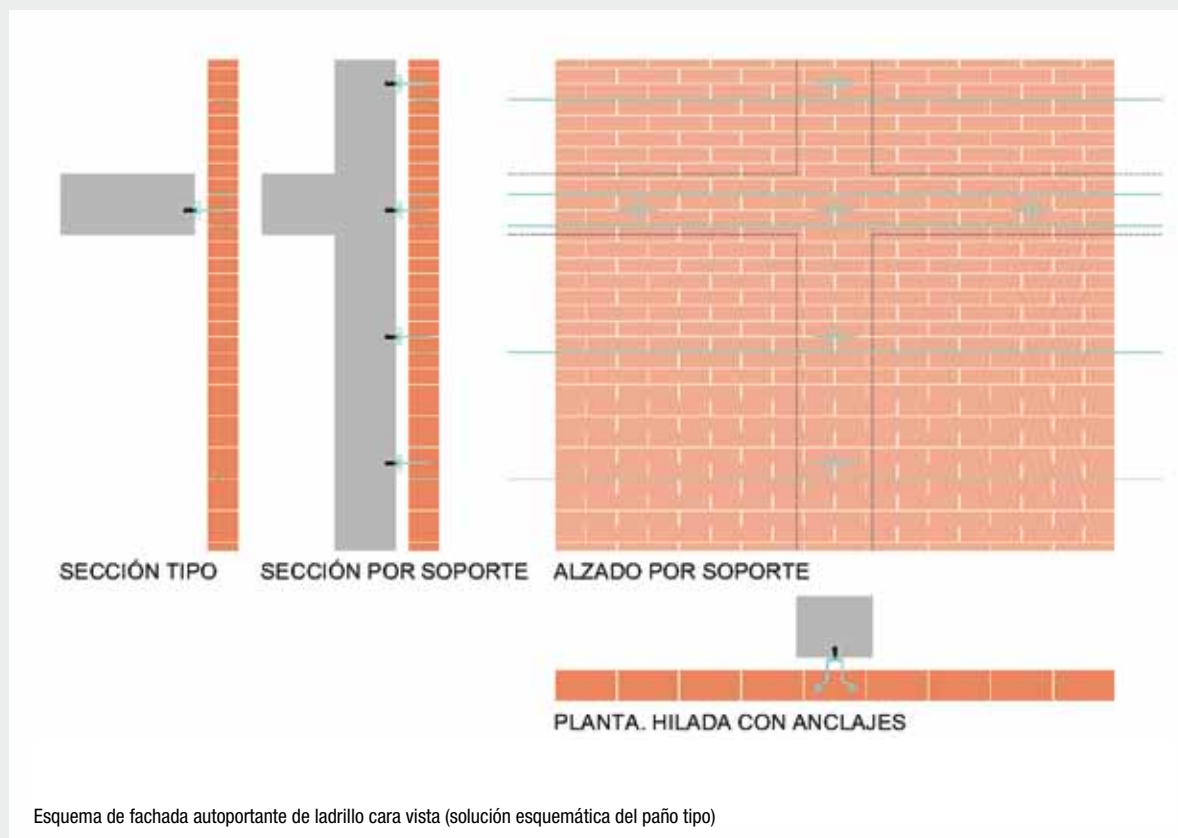
Todas estas razones justifican el interés que los fabricantes de ladrillo cerámico, asociados en la Sección *Cara Vista* de Hispalyt y comprometidos con la tarea de ofrecer propuestas adecuadas para los productos que fabrican, han mostrado por impulsar el tipo constructivo de “fachada autoportante” que se describe en este artículo, cuya solución constructiva está resuelta hasta los últimos detalles por el *Sistema G.H.A.S.®* creado y comercializado por Geohidrol, S.A.

Características de la fachada autoportante

La *fachada autoportante* de ladrillo cara vista (6) se caracteriza porque el principal elemento de sustentación lo constituye el propio muro de ladrillo. La solución constructiva consiste en separar la hoja exterior del cerramiento de la estructura del edificio, transmitiendo el peso a la planta de arranque por compresión de la propia fábrica, y contribuyendo de esta forma a la resistencia frente a las acciones horizontales.

Con esta disposición constructiva de la hoja exterior del cerramiento de fachada se consiguen tres objetivos fundamentales:

- Utilizar el efecto beneficioso del peso de la fachada en el análisis frente a las acciones horizontales.
- Mejorar el comportamiento higrotérmico del cerramiento, eliminando los puentes térmicos y los puntos de condensación.



(6) Esquema de fachada autoportante de ladrillo cara vista (solución esquemática del paño tipo)

- Eliminar el conflicto constructivo que supone el confinamiento de la fachada de ladrillo entre los elementos estructurales del edificio.

Estos tres objetivos fundamentales, de índole estructural, funcional y constructiva, definen las principales características de la fachada autoportante.

Características de índole estructural

La continuidad constructiva de la hoja exterior del cerramiento, en toda la altura que permite el cálculo, es la característica principal de la fachada autoportante. Esta circunstancia implica la continuidad de la acción gravitatoria debida al propio peso de la fachada, lo que produce como resultado que la fábrica trabaje en buena medida a compresión, lo que constituye el comportamiento mecánico más eficaz de los materiales pétreos. En la misma medida que se incrementa la acción gravitatoria, se consigue el contrarresto de las acciones horizontales, reduciendo el coste en armaduras y el riesgo de fisuración del muro.

El modelo estructural de referencia para el análisis de la fachada autoportante es el *modelo placa* (flexión en dos direcciones) con bordes en continuidad, que constituye el modelo más rentable de los sancionados por el Código Técnico de la Edificación para el análisis de muros con acciones horizontales. Los dispositivos de anclaje a soportes y forjados suministran la reacción necesaria en las sustentaciones frente a las mencionadas acciones.

La reacción selectiva que suministran los anclajes permite el control de todos los movimientos y esfuerzos del cerramiento, lo que supone poder realizar un análisis y dimensionado estricto, optimizando al máximo el coste de la solución.

Características de índole funcional

La principal característica de índole funcional de la fachada autoportante está relacionada con el comportamiento higrotérmico del cerramiento. La construcción del muro de fachada separado de la estructura del edificio permite la eliminación del puente térmico en los frentes de forjados y soportes, debido a que se puede dar continuidad al aislamiento sin comprometer la estabilidad de la fachada. La eliminación de puentes térmicos supone un ahorro en el aislamiento, aunque la principal ventaja de esta circunstancia es evitar el riesgo de humedades de condensación.

Si los requisitos de impermeabilidad lo aconsejan, se puede dotar de ventilación a la cámara de aire, consiguiendo una fachada que participa de las principales ventajas de las *fachadas ventiladas* y de otras adicionales por tener como material de acabado el ladrillo cara vista (durabilidad, bajo mantenimiento, calidad estética, etc.).

Características de índole constructiva

La principal característica constructiva de la fachada autoportante es la eliminación del conflicto que supone el encuentro de la hoja exterior del cerramiento con los elementos estructurales del edificio.

La hoja exterior de la fachada autoportante se construye sin interrumpir su continuidad en toda la altura que permita su resistencia a compresión y en toda la longitud limitada por la necesidad de juntas verticales de movimiento. Por consiguiente, el espesor del muro de fachada no se estrangula al paso por forjados o soportes. Su posición respecto de la estructura del edificio es tangente a la tabica exterior de los forjados, por lo que no se precisan plaquetas de revestimiento del frente de los mismos, ni cortes o piezas especiales para ajustar el replanteo a la altura de cada planta. Además se puede conseguir un perfecto plomo y planeidad, con independencia de las tolerancias geométricas de la estructura.

La condición de entrega en los forjados que requiere la solución de fachada confinada, se sustituye en la solución autoportante por la condición de entrega de los dispositivos de anclaje, que se colocan previamente y poseen una geometría específica para su inspección, por lo que es posible supervisar su correcta puesta en obra con anterioridad y posterioridad a la ejecución del muro. Este procedimiento de conexión evita que los forjados y soportes se acusen al exterior.

Elementos auxiliares con prestación estructural. Sistema G.H.A.S.®

El modelo de referencia para analizar el comportamiento mecánico de las fachadas autoportantes es el *modelo placa* anclada en los bordes. Ello requiere utilizar en el cálculo la resistencia a flexión del muro, por una parte; y, por otra, la reacción horizontal suministrada por dispositivos de anclaje a la estructura.

Ya se ha comentado anteriormente que los muros de fábrica son excelentes elementos estructurales trabajando a compresión; pero sin embargo su respuesta a flexión es muy limitada debido a su pequeña capacidad de resistir tracciones.

La resistencia a flexión requerida por un paño de fachada autoportante de ladrillo para resistir la acción de viento se consigue por dos vías:

- **Resistencia a flexión vertical (*rotura por tendeles*):** el recurso fundamental para incrementar la resistencia a flexión por tendeles es la incorporación de carga gravitatoria. El incremento de resistencia es proporcional a la carga gravitatoria incorporada
- **Resistencia a flexión horizontal (*rotura perpendicular a los tendeles*):** el recurso habitualmente utilizado para incrementar la resistencia de los muros de fábrica en el plano horizontal es la incorporación de armadura de tendel, que suministra la resistencia a tracción de la que el muro es deficitaria, de la misma manera que en la técnica del hormigón armado.

La reacción horizontal precisa para equilibrar la acción de viento, evitando el vuelco del muro, se consigue mediante dispositivos de anclaje a los elementos estructurales, que deben tener un diseño específico para poder suministrar una reacción selectiva, permitiendo determinados movimientos y evitando otros. Los anclajes deben tener prestación estructural para resistir esfuerzos de tracción y compresión, para evitar el vuelco del muro ante la succión y presión del viento, respectivamente.

La cuantía y distribución de estos elementos auxiliares (armaduras y anclajes) se puede determinar mediante el análisis estructural correspondiente con los procedimientos explícitos en el *Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica*.

Debido a que los elementos auxiliares tienen asignada una misión estructural, es imprescindible para conseguir la absoluta garantía de su comportamiento mecánico, por una parte conocer con certeza la prestación estructural de los elementos utilizados y, por otra parte, no menos importante, poder asegurar una correcta puesta en obra.

El Sistema G.H.A.S., (7) que surgió para mejorar las prestaciones de las fachadas de ladrillo cara vista y eliminar de una forma práctica y económica los problemas constructivos inherentes al sistema convencional, es el único sistema que existe actualmente en el mercado que tiene disponibles los elementos necesarios para el proyecto y ejecución de fachadas autoportantes, con los dos requisitos anteriormente citados: **garantía de prestación y garantía de puesta en obra**. Estos dos requisitos, imprescindibles para poder respaldar responsablemente cualquier sistema constructivo, han posibilitado la obtención del *Documento de Adecuación al Uso N° 12-076*⁶, lo que constituye una garantía adicional para el proyectista, constructor o promotor que decida incorporar en su edificio la solución constructiva de fachada autoportante de ladrillo cara vista que aquí se analiza.



(7) y (8)

Armadura de tendel geofor®

La Empresa Geohidrol S.A. garantiza la solución de fachada autoportante de ladrillo cara vista, incluida en el *Sistema G.H.A.S.®* que utiliza, como recurso fundamental en el comportamiento mecánico de los muros de fachada, la prestación estructural atribuida a la armadura de tendel. (8)

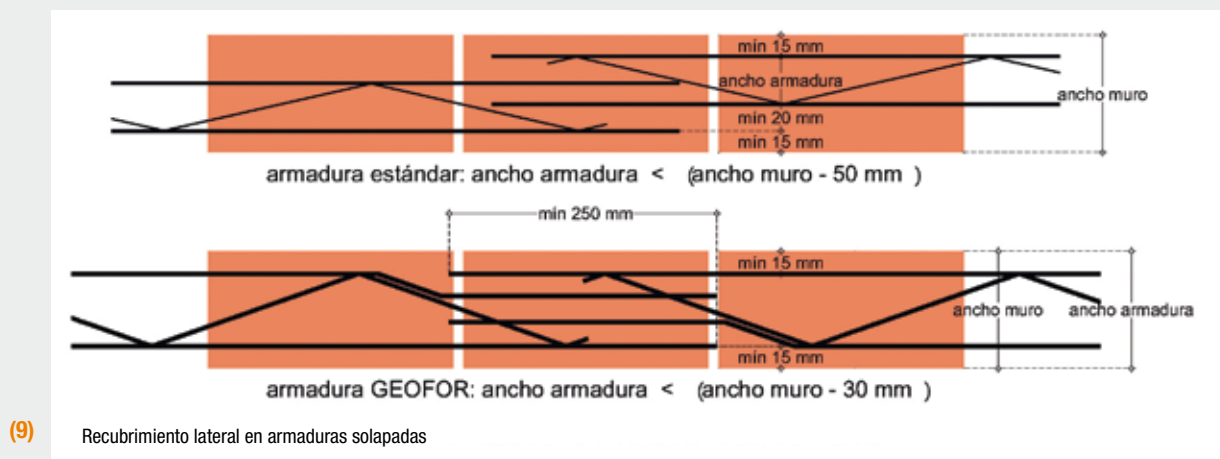
En general, la presencia de armaduras de tendel en los muros de fábrica incrementa significativamente sus prestaciones mecánicas. Entre otras propiedades de los muros armados, la normativa actual reconoce un aumento de su resistencia a flexión directamente proporcional a la cuantía de armadura y a su ancho eficaz. Pero estas atribuciones sólo son ciertas si la armadura está realmente incorporada en el muro y, además, colocada en una posición correcta, de manera que pueda existir una adecuada transmisión de esfuerzos entre piezas contiguas.

Es importante indicar aquí que, en las armaduras que tienen configuración de estructura cerchada, la transmisión de esfuerzos a lo largo del intervalo triangulado se realiza a través de los propios alambres, de la misma manera ocurre en las cerchas, siempre y cuando se garantice una eficaz conexión de las armaduras mediante la soldadura en los nudos. Sin embargo, en las zonas de extremo, a partir de la última triangulación, la celosía no tiene respuesta mecánica como tal; y la transmisión de esfuerzos entre una pieza de armadura y la pieza contigua sólo se puede producir por adherencia con el mortero.

Por esta razón, las condiciones de extremo de las armaduras son especialmente importantes cuando éstas tienen asignada una prestación estructural; y, sin embargo, son las condiciones más difíciles de conseguir en la puesta en obra de los muros armados. La transmisión de esfuerzos a través de armaduras contiguas, imprescindible para su función estructural, precisa tres requisitos esenciales en la zona de los extremos: **recubrimiento, adherencia y longitud de solape.**

El **recubrimiento** de mortero es importante y obligatorio en toda la longitud de la armadura para conseguir la protección necesaria frente al riesgo de corrosión; pero en las zonas de los extremos, a partir del último nudo, es imprescindible para habilitar la transmisión de esfuerzos por adherencia.

La **adherencia** de las armaduras con el mortero es un requisito fácil de obtener si se respetan las prescripciones de recubrimiento establecidas, puesto que las armaduras de tendel tienen un diámetro relativamente pequeño. De hecho, la normativa sólo exige



que se garantice, mediante ensayos, el valor de este parámetro en los extremos de las piezas, por lo que se trata de una prestación declarada en el reglamentario *Marcado CE*, con la que se compromete el fabricante, y que el proyectista puede utilizar en la fase de proyecto sin necesidad de más comprobaciones.

Sin embargo, para que la respuesta mecánica del muro sea la que se ha previsto en proyecto, es fundamental que las condiciones de puesta en obra de la armadura reproduzcan lo más fielmente posible las condiciones de ensayo. El ensayo de adherencia se realiza con una sola armadura ubicada en el muro, en unas buenas condiciones de recubrimiento lateral; sin embargo, en las zonas de solape, existen dos armaduras superpuestas, lo que compromete el recubrimiento lateral adecuado para la transmisión de esfuerzos que se precisa. Por esta razón la normativa exige, además de declarar el valor de la fuerza transmitida por adherencia en los extremos, que exista una distancia lateral mínima de 20 mm entre armaduras solapadas.

Las armaduras que mantienen constante su geometría en las zonas de extremo, no pueden superar un ancho que es, como máximo, igual al ancho del muro disminuido en 50 mm para permitir el adecuado recubrimiento lateral en las zonas de solape.(9) Si se desea incorporar en el muro una armadura con el ancho óptimo desde el punto de vista de su respuesta mecánica (que es el mayor posible, respetando los recubrimientos a los bordes), es necesario utilizar una armadura con la geometría de extremo modificada para poder respetar, simultáneamente, las condiciones de recubrimiento lateral entre armaduras solapadas.

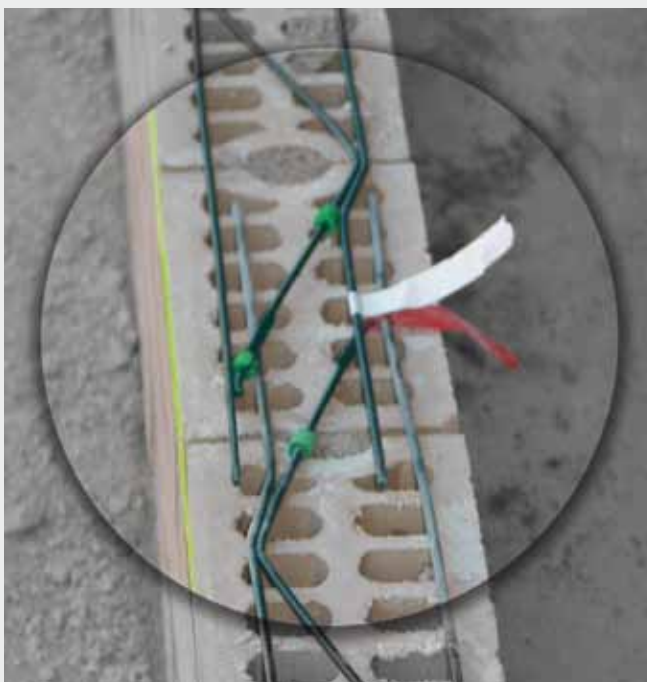
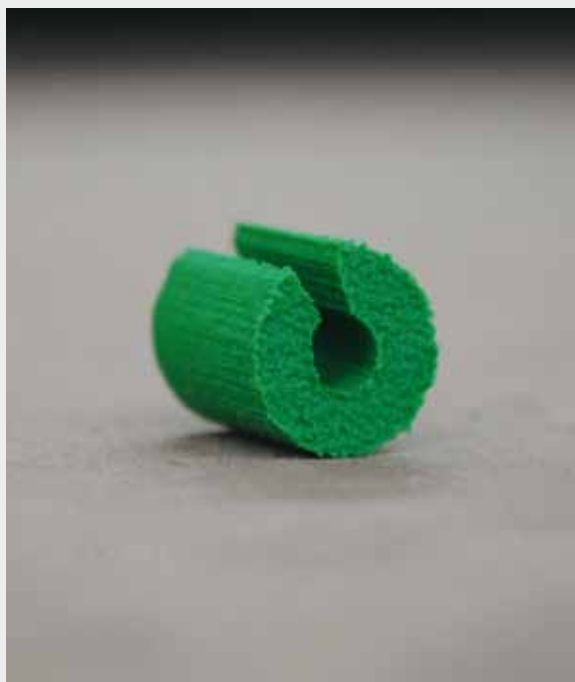
La **longitud de solape** es otra condición de extremo que se exige a la armadura, con el mismo objetivo de reproducir en el muro ejecutado unas condiciones similares a las utilizadas en el ensayo de adherencia. La longitud de solape es la longitud mínima que precisan las armaduras para desarrollar, por adherencia, el valor de la fuerza declarada. Una merma en la longitud de solape supone una merma, en la misma proporción, de la capacidad resistente atribuida a la armadura.

Por las razones anteriores, los extremos de las armaduras constituyen las zonas más delicadas, en las que es imprescindible que concurren los tres requisitos indicados. Pero además, para poder garantizar un adecuado comportamiento del muro ejecutado, no es suficiente prescribir estos requisitos en proyecto, sino que es fundamental que exista la posibilidad de realizar un control de ejecución incluso con la unidad de obra terminada.

Las armaduras que se comercializan actualmente mantienen su geometría constante en toda la longitud de la pieza, lo cual dificulta la operación de solape puesto que requiere cortar y manipular los alambres, razón por la cual en muchos casos esta operación no se realiza correctamente. Pero el mayor problema que estaba pendiente de resolver desde los inicios de la técnica de la fábrica armada es la imposibilidad de supervisar las cuantías y la ubicación y solape de las armaduras una vez que el muro ha sido ejecutado. Esta circunstancia deja en precario al director de obra a la hora de poder garantizar un adecuado comportamiento mecánico del muro armado, aunque utilice en la fase de proyecto las prestaciones declaradas y garantizadas por los fabricantes.

Con estos antecedentes, la sección I + D de la Empresa Geohidrol S.A., comprometida con la responsabilidad de los técnicos que confían en sus propuestas, y conociendo la extraordinaria importancia que tiene la correcta puesta en obra de sus productos, ha desarrollado la nueva gama de armaduras de tendel GEOFOR®, con la geometría modificada para la función que se le asigna, y provistas de testigos que permiten un control exhaustivo de la puesta en obra mediante una simple inspección visual, incluso con posterioridad a la ejecución del muro.

La armadura GEOFOR® es una armadura de tendel prefabricada formada por dos alambres paralelos unidos por un alambre central soldado en el mismo plano, conformando una malla triangulada. Además del reglamentario *Marcado CE*, de acuerdo con las especificaciones de la Norma EN 845-3, la innovadora armadura GEOFOR® cuenta con las siguientes características fundamentales que la diferencian del resto de las armaduras existentes en el mercado.



(10), (11) y (12)

Separadores incorporados

GEOFOR® incorpora en sus alambres transversales unos separadores plásticos con geometría cilíndrica, (10) cuya función es garantizar los recubrimientos mínimos de mortero y facilitar su correcta puesta en obra. La armadura GEOFOR® provista de separadores se puede colocar en el muro antes de echar el mortero, evitando el contacto directo del acero con los ladrillos.

Estructura "PLUG"

GEOFOR® tiene un innovador diseño que facilita la realización del solape entre armaduras sin necesidad de manipulación por parte del operario, manteniendo en la zona de solape el mismo ancho nominal que tienen la armadura en toda su longitud. (11)

Los extremos de las armaduras GEOFOR® tienen una configuración geométrica en forma de enchufe que permite realizar el solape mínimo (establecido en 250 mm) sin necesidad de cortar ningún alambre. Asimismo, el alambre transversal en la zona de extremo queda rebajado para poder garantizar los recubrimientos mínimos de mortero.

Dispositivos SAO (Sistema de Autocontrol del Operario)

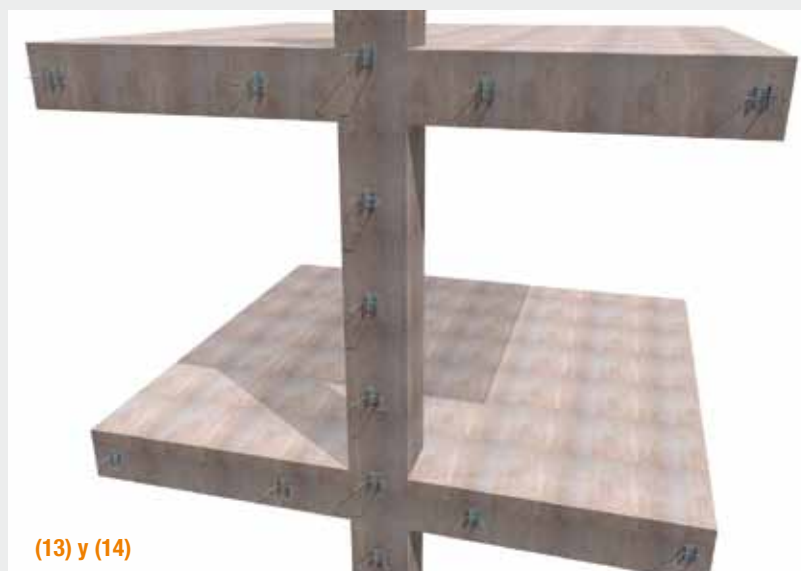
GEOFOR® está provista de testigos colocados en ambos extremos de las piezas, (12) que permiten comprobar visualmente, con posterioridad a la fase de ejecución, que las cuantías de armadura del muro se corresponden con utilizadas en el análisis; y que las longitudes de entrega (en dinteles de huecos) o de solape (entre armaduras contiguas) se corresponden con las especificaciones de proyecto.

Estas singulares características de la armadura de tendel GEOFOR® permiten realizar un cálculo estructural de la fachada con la certeza de que el muro ejecutado tendrá realmente la prestación estructural requerida.

Anclajes geoanc®

Los dispositivos de anclaje de retención son necesarios, incluso en las fachadas convencionales confinadas entre forjados cuando las condiciones de entrega son deficitarias. En las fachadas autoportantes estos elementos son imprescindibles para suministrar la reacción correspondiente a las acciones horizontales, evitando el vuelco del muro. Además, cuando se utiliza el tipo constructivo de fachada autoportante, los anclajes tienen una doble misión, puesto que limitan la esbeltez de los paños frente al fenómeno del pandeo, que puede llegar a ser un aspecto restrictivo en los edificios de altura.

Los dispositivos de anclaje deben conectar la hoja exterior a los elementos estructurales previstos para resistir y transmitir las acciones horizontales hasta la cimentación. Se pueden fijar, por consiguiente, a soportes, frentes de forjado o a un muro perimetral exterior.



(13) y (14)

Para poder analizar rigurosamente una fachada autoportante es fundamental que no exista incertidumbre acerca del valor de la carga gravitatoria asignado a la fachada. El muro de fachada debe tener exclusivamente la carga que corresponde a su propio peso, cuyo principal efecto beneficioso se debe a que actúa absolutamente centrada en el muro, contribuyendo así a su estabilidad. Por ello, se debe evitar cualquier efecto de trasvase de carga de los forjados al muro a través de los dispositivos de anclaje, que constituyen el único punto de contacto entre ambos elementos.

El trasvase de carga se evita impidiendo la posibilidad de desarrollar reacción vertical en la sustentación. En este sentido, el diseño adecuado de los dispositivos de anclaje (13) es el que permite libertad de movimiento en dirección vertical, para anular así esta componente de la reacción. Es conveniente, además, dotar a los anclajes de la posibilidad de movimiento horizontal en el plano del muro, evitando únicamente el movimiento de vuelco (movimiento horizontal perpendicular al plano de fachada). De esta forma, además de controlar el valor de la carga gravitatoria de la fachada, se impide el riesgo de acumulación de tensiones por coacción a movimientos horizontales, como pueden ser los debidos a la expansión por humedad.

La prestación estructural de los anclajes (resistencia a tracción y compresión) se consigue en virtud de las propiedades del acero que los constituyen; pero su capacidad de retención está también íntimamente relacionada con la *garra* en el espesor del muro, puesto que, en este caso, la totalidad de los esfuerzos se deben transmitir por adherencia con el mortero. Esta prestación se garantiza mediante ensayos y debe ser declarada por el fabricante en el reglamentario *Marcado CE*. Por consiguiente, la determinación de las cuantías a utilizar en cada caso se puede realizar, a nivel de proyecto, con una simple operación aritmética.

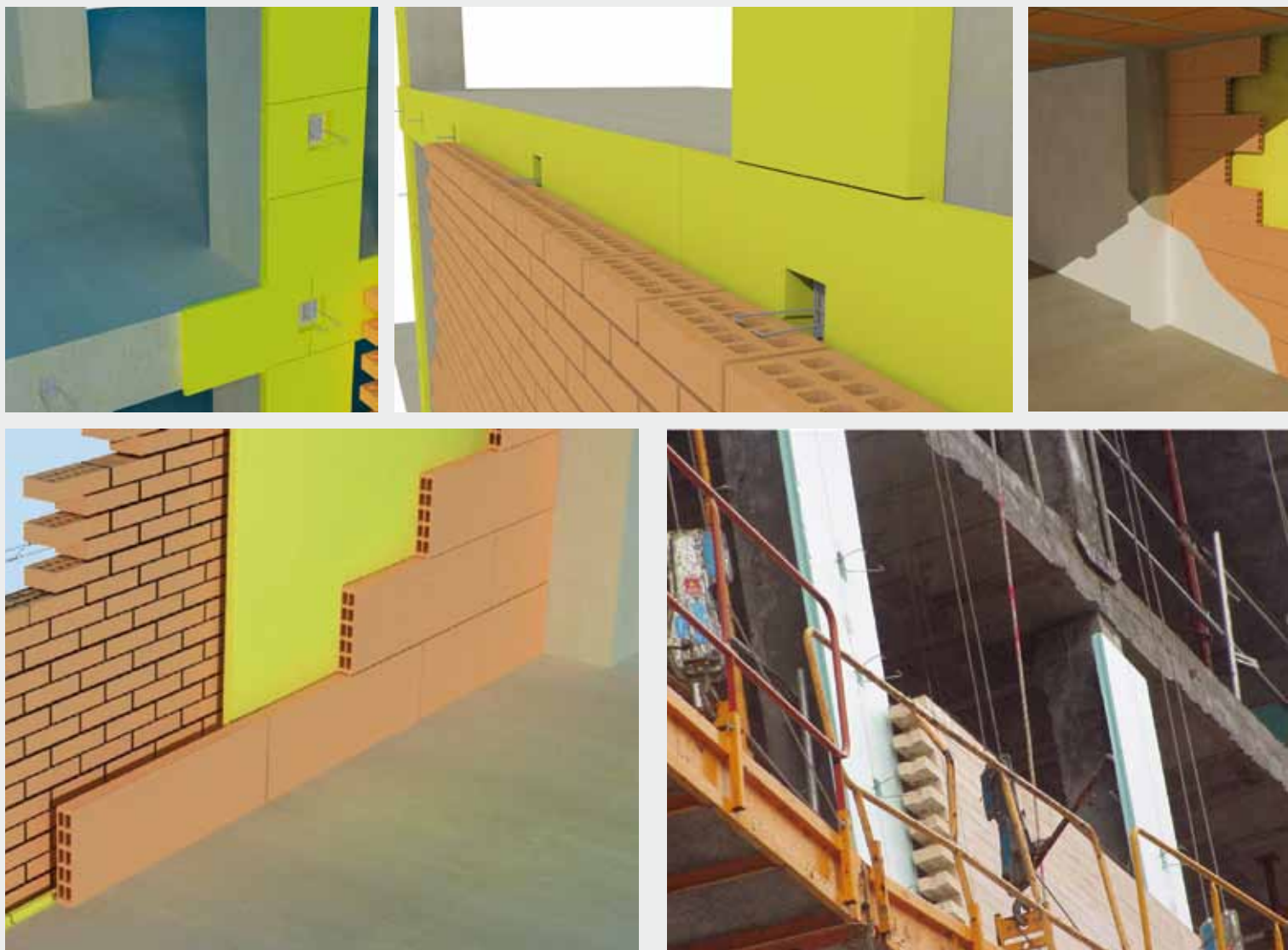
Sin embargo, volvemos a insistir en la necesidad de reproducir en obra las mismas condiciones que las utilizadas en los ensayos, si se desea garantizar la prestación exigida al muro ejecutado. Para poder garantizar el cumplimiento y control de estos aspectos, los anclajes GEOANC® tienen una singular forma geométrica que facilita una correcta ubicación de la garra en el muro (14) y, lo que es más importante, que permite la supervisión de su cuantía y su adecuada disposición incluso con posterioridad a la ejecución del muro, de manera que la prestación declarada queda garantizada en todos los casos.

Desde el punto de vista de la durabilidad, los dispositivos de anclaje son elementos sometidos en cierta medida al ambiente exterior, y de imposible mantenimiento. Por ello, deben tener la protección adecuada a la clase de exposición correspondiente a la fachada en la que se ubican. Los anclajes GEOANC® son de acero inoxidable austenítico, lo que garantiza su durabilidad en las condiciones de exposición más agresivas.

Proceso constructivo de la fachada autoportante

La fachada autoportante, tanto si es estanca como ventilada, se puede construir siguiendo la misma secuencia que en las soluciones convencionales; es decir, ejecutando en primer lugar la hoja exterior. Para evitar puentes térmicos basta con revestir previamente los frentes de forjado y soportes de material aislante. (15)

La sustentación en el arranque se realiza sobre un elemento estructural que, a efectos del análisis se puede considerar con rigidez infinita. Esta situación puede corresponder al arranque del cerramiento sobre la cabeza de un muro de sótano, una solera de hormigón, una viga de borde de forjado o una zapata corrida de cimentación. Si hubiere soportales o grandes huecos en planta baja, puede arrancar sobre una viga cargadero, con suficientes puntos de sustentación a la estructura del edificio⁷.



(15), (16), (17), (18) y (19)

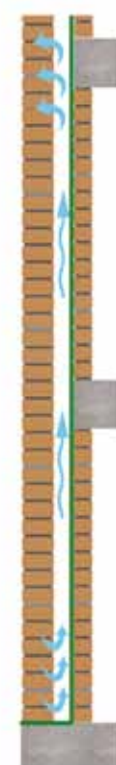
La hembra de los anclajes se fija en los elementos estructurales previamente a la ejecución de la fachada, en la que se incorporan las *garras* de los mismos y la armadura de tendel que se precise, a medida que se levanta la hoja exterior de la fachada por el procedimiento habitual (16). De esta forma el “caravistero” no tiene que coordinar su trabajo con ningún operario de otro oficio.

La hoja interior del cerramiento se construye en último lugar. (17) El aislamiento térmico se puede alojar en la cámara continua, o se puede colocar adosado a la hoja interior; en este último caso no se precisa la continuidad de la cámara, y la hoja exterior del cerramiento puede estar en posición tangente a la estructura del edificio, sin separación significativa entre ambos elementos. (18)

El principal requisito para un comportamiento higrotérmico adecuado es que el aislamiento quede lo más próximo posible de la hoja interior. Esto se puede conseguir colocando planchas rígidas con separadores, o utilizando para la hoja interior piezas cerámicas que llevan el aislamiento incorporado por una de las caras. Son piezas machihembradas, que se reciben con yeso. El panel aislante o, en su caso, el machihembrado de las piezas de la hoja interior sirven también para evita la caída de pasta en la cámara, que debe quedar perfectamente limpia. (19)

El tipo constructivo de fachada autoportante admite la versión de fachada ventilada de ladrillo cara vista (20). Esta solución sólo requiere dejar llagas de ventilación (desprovistas de mortero) en la primera y última hiladas, a intervalos regulares de, aproximadamente, un metro de distancia en horizontal.

Desde el punto de vista del proceso constructivo y elementos auxiliares, esta solución no tiene ningún coste adicional respecto de la fachada autoportante estanca; incluso puede suponer un ahorro en zonas en las que se exige un alto grado de impermeabilidad, puesto que no requieren un enfoscado en el trasdós. El coste adicional de la fachada ventilada de ladrillo cara vista respecto al de la fachada estanca del mismo material sólo corresponde a la pérdida de superficie útil, debido a que la cámara de aire ventilada



(20)

necesita, para que funcione como tal, un espesor libre mínimo de 3 cm; lo que supone, en la misma medida, un incremento del espacio ocupado por el cerramiento del edificio.

Conclusión

El tipo constructivo de *fachada autoportante de ladrillo cara vista* constituye una muestra de las numerosas posibilidades que ofrecen los materiales cerámicos, utilizando los recursos incorporados en la normativa y las soluciones y sistemas avanzados disponibles en el mercado. Constituye también un buen ejemplo de que el análisis sistemático de diferentes soluciones alternativas es un procedimiento adecuado para incrementar las prestaciones de los elementos constructivos sin incrementar necesariamente el coste del producto final.

Profundizar en el estudio del comportamiento de los materiales constructivos y en los recursos que ofrece la técnica actual produce como resultado la posibilidad de recuperar sistemas tradicionales, con la confianza que proporciona el conocimiento de lo que se utiliza, y la posibilidad de aumentar el campo de aplicación de las unidades constructivas con sistemas innovadores y, no por ello, más costosos.

Bibliografía

Estructuras de fábrica. Jacques Heyman. Instituto Juan de Herrera (Madrid). 1995.

Cerramientos. GeoHidrol, S.A. (Madrid). 2006.

La fachada ventilada con ladrillo cara vista. I. Paricio. Nueva Arquitectura con Arcilla Cocida, nº 2. Faenza Editrici Ibérica. S.L. Hispalyt (Madrid).

Métodos de Análisis para verificar la estabilidad y resistencia de los cerramientos de ladrillo. C. del Río. Revista *conarquitectura*. Febrero de 2004.

Los materiales cerámicos ante el reto del Código Técnico de la Edificación. Asier Maiztegi y Julen Astudillo. CIDEMCO, Centro de Investigación Tecnológica. Revista *conarquitectura*. Abril de 2006.

Cálculo de muros de fábrica sometidos a cargas laterales de viento. J. Estévez Cimadevilla y D. Otero Sanz. Revista *Hormigón y Acero*, nº 240. 2º Trimestre de 2006.

Comportamiento de un muro confinado ante acciones laterales. Víctor Sastre, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Hispalyt. Revista *conarquitectura*. Octubre de 2006.

Proyecto cooperativo del análisis de la problemática y las soluciones más adecuadas para la construcción de muros no portantes de fábricas de ladrillo cerámico. PROFIT concedido a Hispalyt. 2005 - 2008.

Sistema "Structura" para fachadas de ladrillo cara vista. C. del Río. Hispalyt. Revista *conarquitectura*. Octubre de 2007.

Fachadas de ladrillo cara vista. GeoHidrol, S.A. (Madrid). 2010.

